

Die Blei-Zinkerzlagerstätten des Pflerschals

Zur Genese eines metamorphen schichtgebundenen Erzvorkommens aus den Ostalpen

Von NIKOLAUS SCHMITZ, Aachen*)

Mit 13 Abbildungen

Zusammenfassung

Die Blei-Zinkerzlagerstätten des Pflerschals treten schichtgebunden in prätriadisch verfalteten und metamorphisierten sandig-pelitischen Sedimenten der Ötztal-Stubai-Masse auf. Die Erze (u. a. Zinkblende, Bleiglanz, Magnetkies) bilden stratigraphisch durch Graphitschiefer und Metatuffite kontrollierte Lager stark variierender Mächtigkeit bis zu einigen Metern. Als primärer Bestandteil der umgebenden Metasediment-Serie unterlagen sie der gleichen metamorphen Überprägung, die das Nebengestein im Verlauf mehrerer petrogenetischer Akte umgeformt hat. Die Abschätzung der p-T-Bedingungen der letzten prätriadischen Metamorphose sowie mikroskopische und Geländebefunde führen zu der Annahme, daß in erheblichem Umfange Sulfidmobilisationen, teilweise vielleicht bis zur Sulfidaufschmelzung, eine Rolle gespielt haben. Die Frage nach einer möglich erscheinenden, zusätzlichen alpidischen Erzmobilisation ist zur Zeit noch nicht zu beantworten. Altersbestimmungen und petrogenetische Untersuchungen an Gesteinen der Ötztal-Stubai-Masse durch andere Autoren lassen ein silurisches, vielleicht sogar ein präsilurisches Alter (> 410 my) der erzführenden Metasedimente des Pflerschals vermuten.

Abstract

The stratabound lead zinc ore deposits of the Pflersch Valley (Eastern Alps) are intercalated in pre-Triassic folded and metamorphosed pelitic sediments of the Ötztal-Stubai Masse. The ores (sphalerite, galena, pyrrhotite etc.) are stratigraphically controlled by graphitic shists and tuffitic layers. The thickness of the ore bodies varies between some centimeters to some meters. As part of the regional setting these ore-bearing strata were metamorphosed during several metamorphic episodes together with these metasediments. Field observations, supplemented by microscopic studies, and the calculation of p-T-conditions indicate that now partly mobilized ores probably had their origin during the last pre-Triassic metamorphic events. These ores probably came in part as sulfide melts. There seems also a possibility of an additional alpine ore mobilization process. On the basis of age determinations and petrographic studies carried out in the Ötztal-Stubai Masse by other authors it is possible to say that the ore-bearing former sediments belong to Silurian or even pre-Silurian age (> 410 my).

Résumé

Les gisements de plomb et de zinc de la vallée du Pflersch sont liés au sédiments grésopélitiques du Massif de l'Ötztal et de Stubai (Alpes orientales). Ces sédiments ont subi des plissements et des métamorphismes prétriasiques. Les minerais (e. a. blende, galène, pyrrhotine) alternent avec des schistes à graphite et avec des métatuffites et accusent des épaisseurs variables allant jusqu'à quelques mètres. En tant que partie

*) Anschrift des Verfassers: Dr. N. SCHMITZ, Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH Aachen, 51 Aachen, Wüllnerstr. 2.

intégrante des séries sédimentaires encaissantes, ils ont subi les mêmes modifications métamorphiques que celles-ci au cours de plusieurs phases pétrogénétiques. L'évaluation des conditions p-T du dernier métamorphisme prétriasique ainsi que les analyses microscopiques et sur le terrain conduisent à l'hypothèse d'une mobilisation importante et peut-être même d'une fusion partielle des sulfides. Pour le moment on ne peut pas se prononcer sur le bien-fondé d'une mobilisation métallifère additionnelle au cours de l'orogénèse alpine, mais celle-ci semble possible. Les datations et les analyses pétrologiques des roches du Massif de l'Oetztal et de Stubai suggèrent un âge silurien, peut-être même présilurien (> 410 my) pour les méta-sédiments métallifères de la vallée du Pflersch.

Краткое содержание

Свинцово-цинковые рудные месторождения долины Пфлершталь встречаются в виде прослоек в складчатых (дотриасовое складкообразование) и в метаморфизованных песчано-пелитовых отложениях эцталско-штубайской массы. Рудные отложения (в том числе цинковая обманка свинцовый блеск, магнитный колчедан) образуют стратиграфически контролируемые графитовыми сланцами и метатUFFитами залежи варьирующей мощности до нескольких метров. В качестве первичной составной части окружающей серии метаосадков они подверглись тому же самому метаморфическому преобразованию, которое трансформировало вмещающие их породы в течение нескольких петрогенетических процессов. Оценка условий давления/температуры последнего до-триасового метаморфизма, а также микроскопические данные и полевые наблюдения разрешают предполагать, что здесь значительную роль сыграла мобилизация сульфидов, идущая порой вплоть до расплавления этих последних. В настоящее время ещё нельзя дать положительный ответ на вопрос о дополнительной альпийской мобилизации руд. Определения возраста и петрогенетические исследования пород эцталско-штубайской массы, проведенные другими авторами, допускают предположение о силурийском, быть может даже до-силурийском возрасте (410 млн. лет) рудоносных метаосадков долины Пфлершталь.

Einleitung

Im Zusammenhang mit den seit 1959 laufenden Untersuchungen lagerstättenkundlicher und petrographischer Fragen im Raum westlich von Sterzing und Gossensass durch FÖRSTER hat der Verfasser die Pflerscher Blei-Zinkerzlagerstätten und ihren geologischen Rahmen bearbeitet.

Die Geländeaufnahmen erfolgten in den Jahren 1968 bis 1970 und schlossen zusätzlich geochemische Sucharbeiten ein.

Aufgabe der erstmals ausführlicheren Bearbeitung dieser Lagerstätten war die Überprüfung älterer Ansichten bezüglich der genetischen und altersmäßigen Deutung mit neueren Methoden.

Geographischer und geologischer Überblick

Die Blei-Zinkerzlagerstätten des Pflerschtals liegen westlich von Gossensass/Südtirol, knapp südlich der italienisch-österreichischen Staatsgrenze westlich des Brenner.

Die derzeit bekannten Pflerscher Erzvorkommen (Abb. 1), in Höhen zwischen 1100 und 2600 m über NN gelegen, treten bevorzugt auf der südlichen Talflanke auf. Zahlreiche Stollen, Halden und Flurnamen weisen auf einen alten Bergbau hin, dessen Blütezeit historisch belegbar im 15. Jahrhundert lag. Eine Übersicht über die Pflerscher Bergbaugeschichte wurde von SCHMITZ (1971) gegeben.

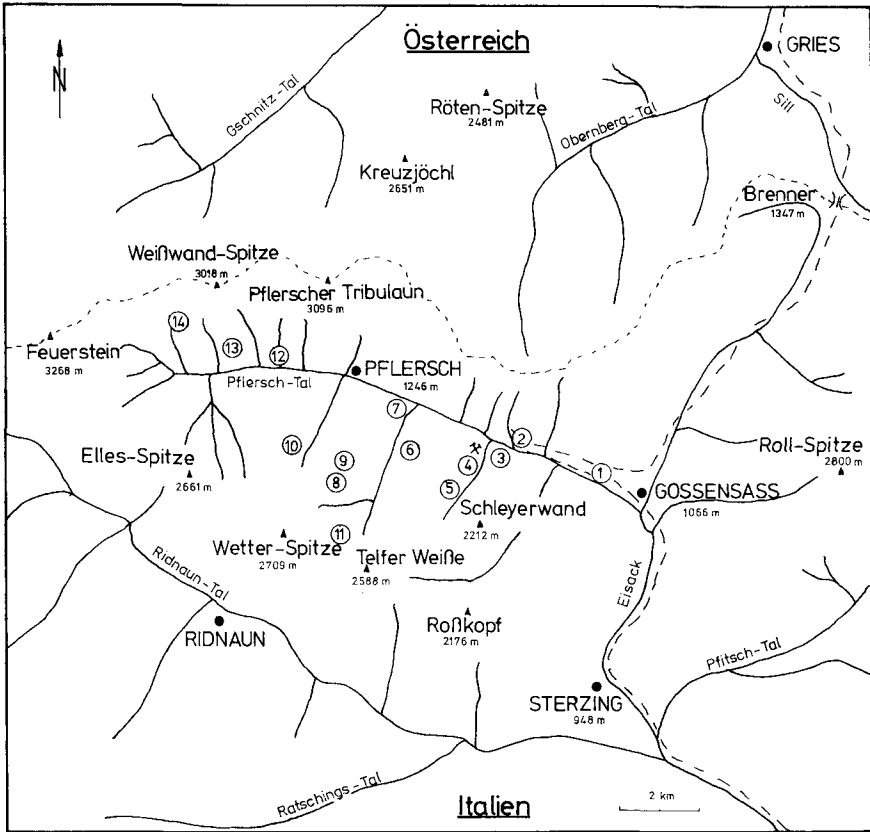


Abb. 1. Die wichtigsten historischen Bergbaureviere des Pflerschtals. — 1 „Alter Berg“ bei Gossensass, 2 Ast, 3 Schreiergraben, 4 Rökengraben, 5 Ladurns, 6 Pocherbrand, 7 Toffring, 8 Pfaffenberg, 9 Bodnerberg, 10 Alriß, 11 Silberböden, 12 Stein, 13 Kuchlhahner, 14 Schafalpe.

Die 1971 eingestellten bergmännischen Untersuchungsarbeiten betrafen das Stollenrevier „Rökengraben“, in dem seit 1959 im Rahmen eines von der Azienda Minerale Metallici Italiana (AMMI) durchgeführten Wiedererschließungsprogramms viele hundert Meter Stollen gewältigt bzw. neu vorgetrieben wurden. Über den Wiederaufschluß der Pflerscher Erzvorkommen haben Förster & Schmitz (1972) berichtet.

Die Pflerscher Blei-Zinkerze sind an kristalline Gesteine der Ötztal-Stubai-Masse gebunden, also an einen Komplex aus prätriadisch verfalteten und metamorphosierten Sedimenten und Magmatiten. Rb/Sr- und K/Ar-Altersbestimmungen und petrogenetische Untersuchungen an Gesteinen dieses Altkristallins haben die Existenz dreier gesteinsbildender Phasen nachgewiesen und zwar eine prävaristische von etwa 410 Mio. Jahren, eine varistische von etwa 300 Mio. Jahren und eine frühalpideische von etwa 80 Mio. Jahren (Schmidt et al. 1967, MIL-

LER et al. 1967, HARRE et al. 1968, FÖRSTER 1969, PURTSCHELLER 1969). Von der Mehrzahl der Autoren wird der varistische Petrogenese die größte Bedeutung beigemessen, während die frühalpide Metamorphose im Bereich der Ötztal-Stubai-Masse als faziesgleich bzw. retrograd eingestuft wird (SCHMIDT et al. 1967, FÖRSTER 1969, PURTSCHELLER 1971).

Für die Ursprungsgesteine dieses Altkristallins wird präkambrisches bis altpaläozoisches Alter für wahrscheinlich gehalten (z. B. FÖRSTER 1966, SCHMIDT 1966, FÖRSTER & LEONHARDT 1972, ANGENHEISTER et al. 1972).

Im Gebiet westlich des Brenner folgt über dieser metamorphen Serie transgressiv eine permomesozoische Schichtfolge, die vorherrschend aus karbonatischen Gesteinen der zentralalpiner Trias besteht. Verglichen mit dem Altkristallin zeigen die sicher permomesozoischen Gesteine im Brennermesozoikum eine geringere metamorphe Überprägung (z. B. KÜBLER & MÜLLER 1962, LANGENHEINRICH 1965, FÖRSTER 1969, SCHMITZ-WIECHOWSKI 1973).

Örtlich wird dieses Brennermesozoikum seinerseits von petrographisch völlig andersartigen Gesteinen tektonisch überlagert (Roßkopf-Schuppe, Steinacher Decke).

Die Vererzung und ihr petrographischer Rahmen

Die Pflerscher Blei-Zinkerzlagertstätten treten schichtgebunden in Gesteinen des Altkristallins auf (Abb. 2). Das Nebengestein, der „Pflerscher Glimmerschiefer“ (SANDER 1929), steht in streichender Verbindung mit den Nebengesteinen der weiter südwestlich gelegenen Schneeberger Lagerstätten (KARL 1961).

Zum Schichtaufbau und zur Petrographie der vererzten metamorphen Serie

Die Pflerscher Erze sind Bestandteil einer eintönig entwickelten metamorphen Serie. Diese ist durch einen ausgeprägt schichtigen und konkordanten Aufbau ausgezeichnet, der in Gefügebereichen jeglicher Größenordnung nachweisbar ist (Abb. 3).

Das kennzeichnende Glied dieser Folge ist im Bereich des Pflerschtals ein Quarz-Glimmerschiefer, der durchschnittlich zu 80 Vol. % aus Quarz und Glimmern (Muskovit, Biotit) besteht. Hinzu kommen Plagioklas (An 2—11 bzw. An 23—28), kompakter Almandin-Granat (Alm 65—80), Turmalin (häufig lagenweise angereichert), Apatit, Zirkon, Orthit, Chlorit (aus Biotit und Granat), Disthen und andere.

In diesem Glimmerschiefer treten geringmächtige, konkordante und weitaushaltende Einschaltungen graphitischer Quarz-Glimmerschiefer auf. Diese unterscheiden sich vom normalen Glimmerschiefer durch ihren Graphitgehalt (i. D. etwa 10 Vol. %) und durch ihren hohen Glimmeranteil (etwa 50 Vol. %). Sie führen immer geringe Mengen an Molybdänlanz, häufig etwas Kupferkies und sind durchweg reich an Almandin-Granat. Mit diesen graphitischen Schiefen, die innerhalb einiger Zehnermeter mächtiger Schichtpakete mit den Pflerscher Glimmerschiefern wechsellagern, sind die Blei-Zinkerze stratigraphisch verknüpft.

Außer von graphitischen Schiefen werden die Erze von geringmächtigen, sehr absätzigen und bereichsweise dolomitreichen Quarz-Albit-Gesteinen begleitet, die alle Übergänge zum Pflerscher Glimmerschiefer und zur Paragenese der in den Erzlagern auftretenden Begleitminerale aufweisen.

Übertage wurden bisher zwei derartige Schieferzüge (I, II in Abb. 2 und 3) aufgefunden, die im Abstand von ca. 300 m übereinander folgen und auch untertage¹⁾ nachweisbar sind. Die Kartierung dieser beiden Folgen sowie geochemische Sucharbeiten ergaben, daß alle Erzausbisse, Stollen und anomal hohe Metallgehalte in Böden und Quellwässern in nächster Nähe oder auf den Ausstreichlinien dieser Schieferereinschaltungen gelegen sind.

Die geochemischen Sucharbeiten erfolgten unter zwei Aspekten. Zunächst einmal sollte festgestellt werden, ob sich in einem morphologisch stark gegliederten Gelände der Alpen, welches als lagerstättenhöfzig bekannt ist, anhand von Metallgehalten in

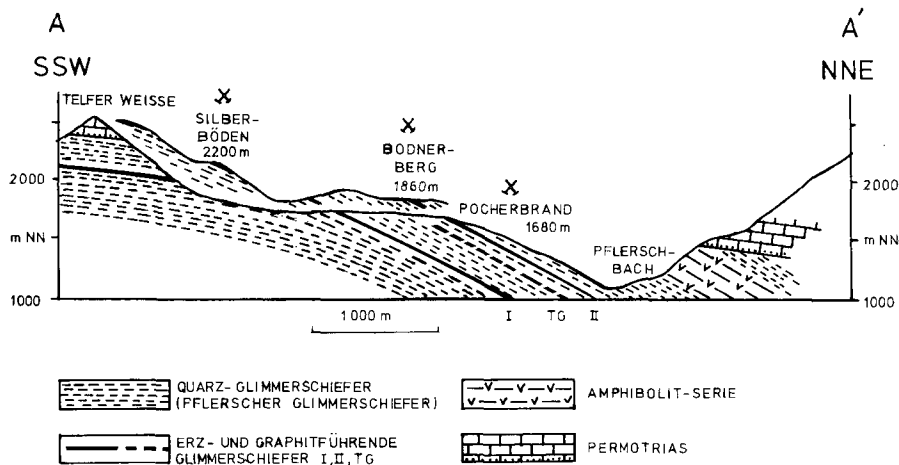


Abb. 2. Geologisches Profil durch das Pflerschtal.

Wässern und Sedimenten Hinweise auf schon bekannte Vererzungen ermitteln lassen. Zum anderen sollte versucht werden, in diesem zum Teil stark bewaldeten Gelände ohne gute Aufschlüsse die durch Kontruktion aus weit auseinander liegenden Aufschlußpunkten ermittelten Ausbißlinien von Vererzungen durch geochemische Boden-traversen zu erfassen und zu bestätigen bzw. zu korrigieren.

An 156 Wasserproben (Bachläufe, Quellen), 73 Sedimentproben und 144 Bodenproben wurden mit Hilfe eines Atom-Absorptions-Spektralphotometers (PERKIN ELMER) die Zink- und Blei-Gehalte ermittelt²⁾. Es zeigte sich, daß neben den schon bekannten alten Bergbaurevieren andere, noch nicht bergmännisch untersuchte Gebiete durch erhöhte Metallgehalte in Wässern und Sedimenten ausgezeichnet sind (SCHMITZ, 1971). Mit Hilfe zweier querschlägiger Boden-traversen westlich und östlich des Stollenreviers „Röckengraben“ konnte die konstruierte Ausbißlinie der Graphitschieferfolge II in diesem Gebiet geochemisch erfaßt werden.

Eine dritte Graphitschieferfolge, die sogenannten Theresia-Gänge (vgl. Abb. 3 und TG auf Abb. 2), die stratigraphisch zwischen den beiden anderen liegt,

¹⁾ Die hier mitgeteilten Informationen beziehen sich auf den untertägigen Erschließungsstand im Revier „Röckengraben“ von 1970.

²⁾ Für die freundliche Unterstützung dieser Arbeiten gilt mein Dank Herrn Professor Dr. G. FRIEDRICH und seinen Mitarbeitern von der Abteilung für angewandte Lagerstättenlehre im Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH Aachen.

wurde untertage im Stollenrevier „Röckengraben“ (Neuer Fuchsstollen) angefahren.

Innerhalb der einzelnen graphitschieferführenden Schichtfolgen treten jeweils mehrere Erzlager auf, deren Mächtigkeiten zwischen wenigen cm und mehreren m schwanken. Die einzelnen Erzlager werden am Liegenden meistens von graphitischen Bändern, die bis zu 1 m mächtig sind, begleitet und wechsellagern häufig mit den schon erwähnten dolomitreichen Quarz-Albit-Gesteinen.

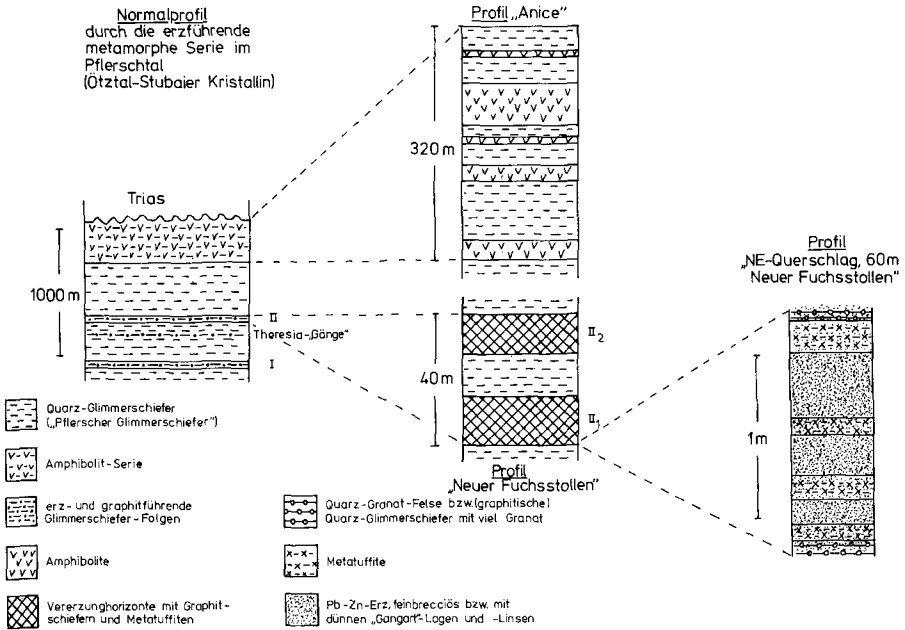


Abb. 3. Schichtprofile aus der erzführenden altkristallinen Serie des Pflerschtals.

Im Hangenden der erzführenden Graphitschieferfolgen treten innerhalb der Pflerscher Glimmerschiefer Einlagerungen amphibolitischer Gesteine auf, die mehr als 50 m mächtig werden können. Sie bestehen bis zu 80 Vol. % aus barroisitischer Hornblende und Plagioklas (An 18—25) und zeichnen sich durch hohe Titan-Gehalte (Titanit, Ilmenit, Rutil) aus. Sie führen keine Marmorereinschaltungen.

Aus dem Modalbestand der einzelnen Gesteine ergeben sich Rückschlüsse auf die Art der Ursprungsgesteine. Im Quarz-Plagioklas-Mafit-Dreieck (MEHNERT 1953) kennzeichnen die Quarz-Glimmerschiefer ton- und quarzreiche, zum Teil sapropelische Sedimente, die Quarz-Albit-Gesteine vermutlich ehemalige saure Tuffe bis Tuffite und die amphibolitischen Gesteine ehemalige basische Vulkanite bzw. Tuffe bis Tuffite.

Die Erzparagenese

Die mineralogische Zusammensetzung der Erzparagenese zeichnet sich durch das Auftreten stark eisenschüssiger Zinkblende mit wechselnden Anteilen von

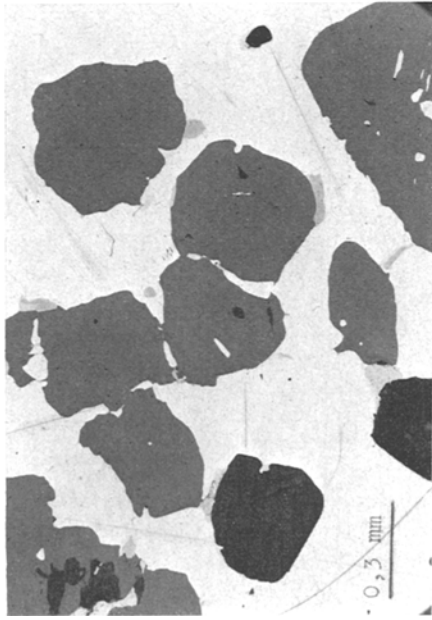


Abb. 4



Abb. 6

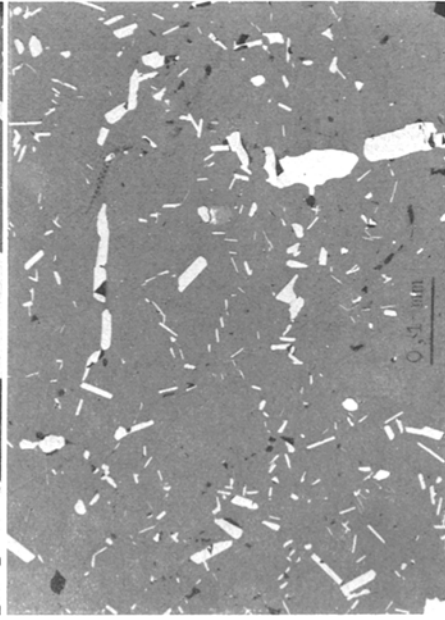


Abb. 5



Abb. 7

Abb. 4—7. Legenden auf S. 155.

Bleiglanz und Magnetkies aus. Bereichsweise treten reichlich Pyrit und Magnetit hinzu. Außerdem wurden Ilmenit, Kupferkies, Fahlerz, Proustit, Boulangerit, Arsenkies, Markasit, Ullmannit und Hämatit beobachtet.

Fahlerz, Boulangerit und Proustit sind bevorzugt in bleiglanzreichen Erzvarietäten vertreten.

Zinkblende bildet in der Regel pflasterartig gefügte Aggregate isometrischer Körner von gelegentlich mehr als 5 mm Durchmesser. In bleiglanzreichen Erzpartien sind die Zinkblenden häufig als rundliche Kornaggregate oder rundliche Einzelkörner (Abb. 4) entwickelt, die von Bleiglanz umschlossen werden. Die Zinkblenden zeigen, manchmal verbogene, Zwillingslamellen und führen durchweg zum Teil orientierte Entmischungen von Magnetkies und Kupferkies.

Bleiglanz liegt ebenfalls in Form mosaikartiger Aggregate vor, ist aber im allgemeinen feinkörniger entwickelt und bildet oft die Füllung im Intergranularraum der Zinkblende-Matrix. Gelegentlich auftretende grobkörnige Bleiglanze zeigen schwach verbogene Spaltflächen.

Magnetkies findet sich als Entmischungen in der Zinkblende, als teilweise rekristallisierte Intergranularfilme innerhalb der Zinkblende-Matrix (Abb. 5) und in Form pflasterartiger Aggregate in pyrit- und magnetitbetonten Erzvarietäten. Größere Körner zeigen häufig Zerknitterungslamellen.

Auffälliges Merkmal des Magnetkieses ist seine Verdrängung durch das „Zwischenprodukt“, die, stellenweise weit fortgeschritten, von Korngrenzen und Haarrissen ausgeht und häufig parallel der Spaltbarkeit (0001) verläuft. Mikrosonden-Untersuchungen am Magnetkies und am „Zwischenprodukt“ (SCHMITZ, 1971; SCHMITZ-WIECHOWSKI, 1973) haben gezeigt, daß letzteres gegenüber dem Magnetkies durch einen erhöhten Schwefelgehalt (max. Fe : S = 1 : 1,8 bis 1 : 1,9) ausgezeichnet ist, ohne jedoch die Zusammensetzung des Markasits zu erreichen. Das Auftreten völlig frischer Pyrite und Zinkblenden im „Zwischenprodukt“ der Pflerscher Magnetkiese weist darauf hin, daß dieses keine Verwitterungsbildung darstellt. Es wird als retrograde Neubildung gedeutet. In Hydrothermalexperimenten wies SCHMITZ-WIECHOWSKI (1973) nach, daß das Pflerscher „Zwischenprodukt“ noch bis 400–450° C und 2000 bar beständig ist.

Pyrit bildet idioblastische Kristalle (i. D. 0,5 mm), die in eisenbetonten Erzvarietäten Kornaggregate in einer zwickelfüllenden Matrix aus Magnetkies, Zinkblende, Bleiglanz und Kupferkies bilden. Diese Sulfide verheilen ebenfalls die kataklastischen Risse im Pyrit.

Magnetit tritt ebenfalls in Form idiomorpher, oktaedrischer Körner (> 0,5 mm) auf, die eine intensive kataklastische Zerlegung zeigen und durch sulfidisches Erz (mit Ausnahme von Pyrit) und durch nichtopake Mineralien verheilt werden. Gelegentlich zeigt sich eine von Korngrenzen aus einsetzende Martitisierung.

Ilmenit, der Hämatit entmischt, ist vergesellschaftet mit Magnetit, Pyrit und Magnetkies.

Kupferkies tritt entweder als feine Entmischung in der Zinkblende auf oder er liegt in grobkörniger Form im Gemenge mit Magnetkies, gelegentlich auch mit Zink-

Abb. 4. Rundliche Zinkblende-Einzelkristalle (grau) und „Gangart“ (schwarz) in feinkörnig rekristallisiertem Bleiglanz (weiß). Magnetkies (hellgrau). AS 13 154.

Abb. 5. Rekristallisierte Magnetkies-Intergranularfilme in pflasterartig gefügter Zinkblende-Matrix. AS 10 923.

Abb. 6. Ehemaliger Hochtemperatur-Kupferkies in rekristallisierter Magnetkies-Matrix. AS 13 861 + Nicols.

Abb. 7. Intergranulares, dem s folgendes Wachstum von Almandin-Granat im Vererbungsgebiet. Postkristalline Granat-Kataklase. Quarz (weiß), Erz (schwarz). DS 10 486 b.

blende und Bleiglanz, vor. Relativ reichlich und bereits makroskopisch erkennbar ist Kupferkies im graphitischen Nebengestein der Erzlager vertreten. Kennzeichen größerer Körner sind lanzettartige, rechtwinklig miteinander verschränkte Zwillinglamellen (Abb. 6) eines ehemaligen, vermutlich kubischen Hochtemperatur-Kupferkieses (RAMDOHR, 1969).

Fahlerz bildet xenomorphe Körner, die gelegentlich zu Aggregaten gehäuft sind, bzw. Intergranularfilme auf Korngrenzen in der Zinkblende-Matrix. Es handelt sich um einen ungewöhnlich silberreichen Tetraedrit der Formel $\text{Ag}_{3,2} \text{Cu}_{2,1} \text{Fe}_{0,9} \text{Sb}_{2,1} \text{S}_{6,6}$. Der Silbergehalt beträgt 34,9 Gew.-%!

Neben Fahlerz ist Proustit der zweite Silber-Träger der Pflerscher Erze. Er ist ebenfalls feinkörnig und xenomorph entwickelt.

Spießig ausgebildeter Boulangerit ist wie Fahlerz und Proustit typischer Begleiter des Bleiglanzes.

Stark untergeordnet treten Arsenkies, hier und da mimetisch verzwilligt, Markasit und Ullmannit auf. Letzterer scheint ebenfalls bevorzugt an bleiglanzreiche Erzpartien gebunden zu sein. Mikrosonden-Untersuchungen zeigten, daß der Nickel-Gehalt des Ullmannits $\text{Co}_{2,2} \text{Ni}_{2,4} \text{Sb}_{4,7} \text{S}_{4,9}$ zu etwa 50% durch Kobalt ersetzt ist.

Die im Erz auftretenden sonstigen Minerale („Gangart“-Minerale) sind die gleichen wie im Nebengestein. Es handelt sich um Quarz, Plagioklas (An 0—11, i.D. An 4), Dolomit, Almandin-Granat (Alm 65—80), Biotit, Muskovit, Apatit, Turmalin, Orthit, Zirkon, Disthen, Chlorit (aus Biotit und Granat), Graphit, Ilmenit und Rutil.

Am häufigsten sind Quarz, Plagioklas und Dolomit, welche in Form isolierter, vielfach idiomorpher, auch rundlicher Körner oder als mosaikartige Pflasteraggregate im Erz eingeschlossen sind.

Die Almandin-Granate sind ausgesprochen siebartig und grobkörnig (bis zu einigen cm Korngröße) entwickelt. Sie bilden Intergranularfilme innerhalb quarzreicher „Gangart“-Einschaltungen im Erz und zeigen dabei ein deutlich s-paralleles Wachstum (Abb. 7). Stellenweise kommt es im Erz zur Ausbildung absätziger s-konkordanter, biotitführender Quarz-Granat-Felse von Mächtigkeiten bis zu 1 m.

Gelegentlich zeigen die Biotite eine ähnlich siebartige und grobkristalline Ausbildung.

Die Untersuchung des Modalbestandes der „Gangart“-Paragenese eines Erzprofils aus dem Neuen Fuchsstollen (Stollenrevier „Röckengraben“) hat gezeigt, daß diese durch eine Quarz-Dolomit-Albit-Chlorit/Biotit-Vormacht gekennzeichnet ist.

Tektonik und Metamorphose

Deformation und Kristallisation von Nebengestein und Erz

Die Lagerungsverhältnisse im prätriadischen Kristallinsockel des Pflerschtals sind durch zumeist NNE-fallende s-Flächen gekennzeichnet, die ein flaches Gewölbe (SANDER 1929) aufspannen und den Einschaltungen der verschiedenen Gesteinsvarietäten konform verlaufen (vgl. Abb. 2).

Fältelungsachsen im Kristallin lassen eine Durchbewegungstektonik erkennen (Abb. 8). Diese ist durch wenigstens zwei Achsen, ein vermutlich älteres flach nach WNW abtauchendes B_1 und ein flach nach NNE abtauchendes B_2 , repräsentiert und erfaßte Nebengestein und Erzlager (Abb. 9). Die Anlage beider Ach-

sen ist im Kleinbereich der Gesteine mit einer syn- bis postdeformativen Kristallisation von Muskovit, Biotit, Hornblende u. a. verknüpft. So lassen sich beiden Achsen Feingefüge dieser Minerale zuordnen. Die Quarzachsen scheinen flache Kegel mit einem Öffnungswinkel von etwa 140° um B_1 aufzuspannen. Untersuchungen dieser Quarzgefüge wurden im Rahmen experimenteller gefügekundlicher Arbeiten von BAUER (1973) durchgeführt. Der Nebengesteinsgranat wurde vermutlich prä- bis syntektonisch in bezug auf die Anlage von B_1 gebildet.

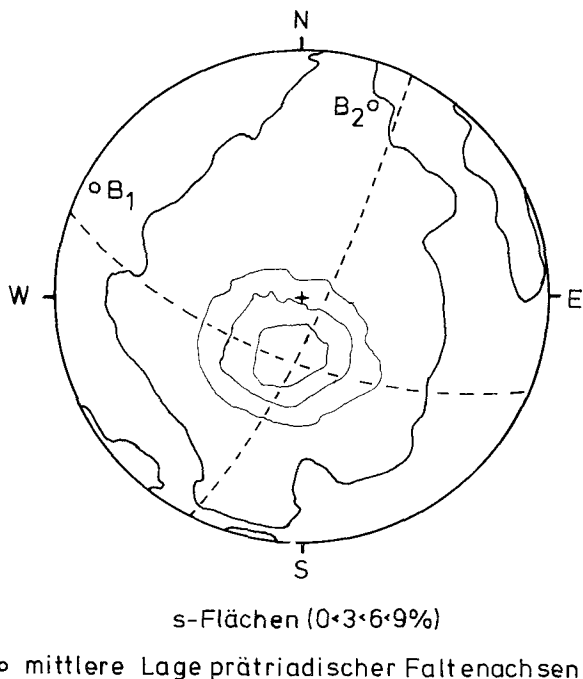


Abb. 8. s-Flächen-Gefügediagramm und mittlere Lage prätriadischer Faltenachsen (737 s, 126 B).

Die Ausmaße der B_1 und B_2 zuzuordnenden Faltenstrukturen gehen im allgemeinen nicht über den dcm-Bereich hinaus.

Beiden Achsen, insbesondere B_1 , lassen sich ac-Klüfte zuordnen, die im Aufschluß- bis Handstückbereich erkennbar sind und auch im Feingefüge anhand kataklastischer Risse in Granaten, Hornblenden und Turmalinen nachweisbar sind. Ob diese Reißfugen auch genetisch mit der Anlage der Faltenachsen in Zusammenhang stehen, ließ sich nicht entscheiden. Möglicherweise entstanden sie später durch Betätigung bereits vorgezeichneter Schwächezonen im Feingefüge.

Außerdem lassen sich hOl-Klüfte beobachten, die der Achse B_1 zugeordnet werden können.

Inwieweit im verfalteten Sulfiderz Gefüge auftreten, die in Beziehung zu einer oder beiden Faltenachsen stehen, müßte noch untersucht werden.

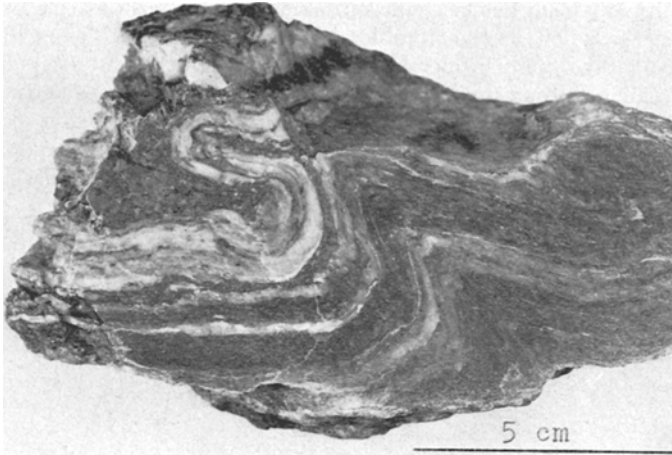


Abb. 9. Mit dem Nebengestein (grauer Quarz-Glimmerschiefer, weißer Metatuffit) um B_1 verfaltete Blei-Zinkerz-Lagen (Erz im Kern der Isoklinal-Falte und mit den Metatuffiten wechsellagernd).

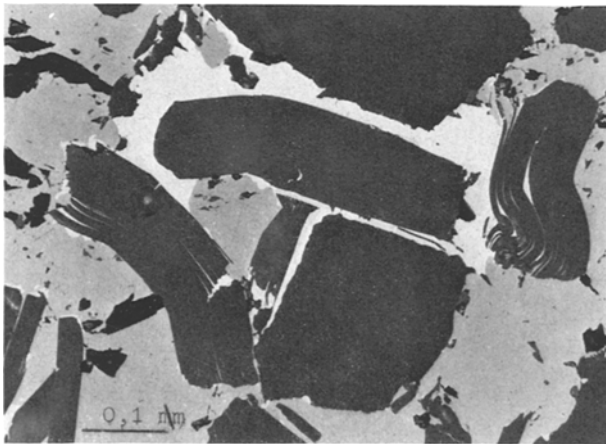


Abb. 10. Verbogene, aufgeblätterte, angestauchte und zerrissene Glimmer im rekristallisierten Blei-Zinkerz (Zinkblende hellgrau, Bleiglanz weiß, „Gangart“ schwarz).
AS 11 442.

Nachfolgend auf die Verfaltungen um B_1 und B_2 und die mit ihnen verknüpften Kristallisationen wurde das vererzte Kristallin im Bereich des Pflerschtals von einer erneuten Deformation betroffen, unter deren Einwirkung Bewegungen in s stattfanden. Diese wirkten sich aufgrund der Kompetenzunterschiede zwischen Erz und Nebengestein bevorzugt innerhalb der plastisch reagierenden, hochteilbeweglichen Graphitschiefer-Sulfiderz-Lagen aus (Abb. 10). Dabei wurden die Erzlager, die im Erz eingeschalteten Metatuffite und teilweise auch die Graphit-

schiefer kräftig durchbewegt sowie die „Salbänder“ der Erzlager und die Tuffit-Mittel brecciiert.

Gefaltete Tufflagen im Erz wurden zerrissen (Abb. 11) und die isolierten Falten, soweit dieses nicht schon während der vorangegangenen Faltung geschah, teilweise zu faltenparallel orientierten, zigarrenartig gestreckten Gesteinskörpern im Erz ausgewalzt (Abb. 12). Auf ähnliche Weise, also durch Isoklinalverfaltung oder durch die jüngere Durchbewegung, entstanden faltenachsenparallel orientierte

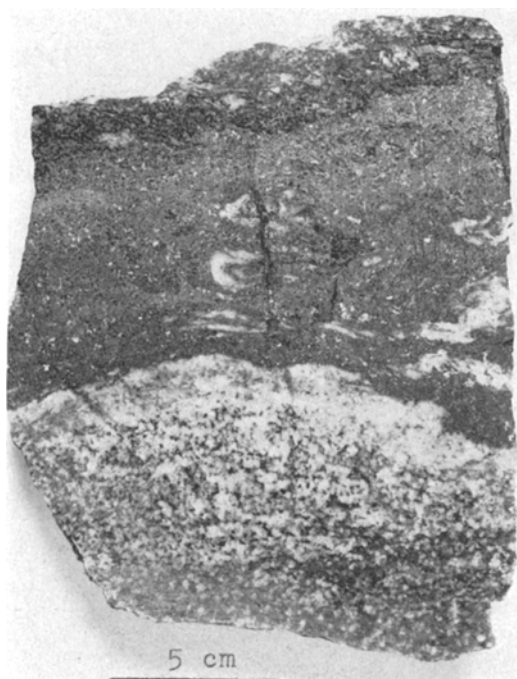


Abb. 11. Isoliert im Erz „schwimmende“ Metatuffit-Falte parallel B_1 mit salbandparalleler Faltenachsen-Ebene.

tierte Erzlineale im Nebengestein. In den Erzlagern hat diese letzte Beanspruchung nur Bewegungsbeträge im cm-Bereich bewirkt. Jedenfalls wurden keine größeren erkannt.

Im quarzreichen Nebengestein wirkte sich diese Deformation in einer Zerschierung der Granate und Glimmer, in Einzelfällen auch in Scherbewegungen auf dünnen, besonders glimmerreichen Lagen aus, die anschließend rekristallisierten.

Mit der Bewegung innerhalb der Vererzungsniveaus hängt offenbar eine Umkristallisation der granatführenden Quarz-Glimmerschiefer zu grobkristallinen biotitführenden Quarz-Granat-Felsen zusammen, deren Auftreten auf die Erzlager beschränkt ist. Dabei erfolgte das Wachstum der Almandin-Granate auf Intergranularen in der Quarz-Matrix und vielfach dem s folgend (vgl. Abb. 7). So entstanden die für den „Gangart“-Granat typischen Siebstrukturen bzw. Interstrukturen oder Grenzflächengefüge (KARL 1964).

Mit dieser Bewegung in s hängt außerdem eine umfassende Rekristallisation der Erzlager sowie der erzbegleitenden Tuffite und Graphitschiefer zusammen. Dabei wurde die Silikat-Rekristallisation von der Sulfid-Rekristallisation überdauert, welche mit Ausnahme des Magnetits und Pyrits die gesamte Erzparagenese erfaßte.

Im Anschluß daran hat noch eine vergleichsweise unerhebliche Deformation stattgefunden, die an der undulösen Auslöschung rekristallisierter Quarze und Karbonate im Erz, an der Kataklyse der Siebgranate, an Verbiegungen von Zink-

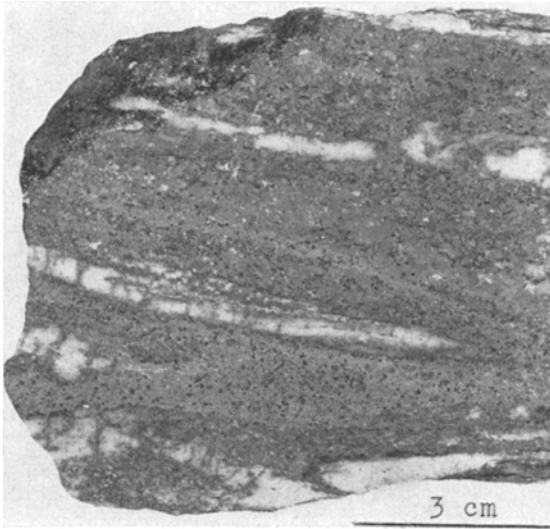


Abb. 12. Faltenachsenparallel gestreckte, von verzerrten Klüften durchsetzte Metatuffitkörper im Blei-Zinkerz.

blendezwillingen und Bleiglanz-Spaltflächen sowie an der Anlage von Magnetkies-Zerknitterungslamellen erkennbar ist.

Posttriadisch wurde die erzführende kristalline Serie mitsamt ihrer permomesozoischen Überdeckung von Störungen verworfen. Neben N-S-streichenden steilen Abschiebungen mit Versetzungsbeträgen von 80 bis 90 m, welche das allmähliche Absinken der permomesozoischen Sedimentplatte nach E zur Brennersenke hin bedingen, existieren enggestaffelt auftretende, NW-SE-streichende Abschiebungen von wesentlich geringeren Verwurfsbeträgen. Die Störungen beider Typen zeigen keinerlei sulfidische Mineralisation.

Metamorphe Mobilisation

Mobilisationen der Sulfiderze als Folge ihrer metamorphen Überprägung sind verbreitet. Sie äußern sich zunächst einmal in der Verheilung zerbrochener Mineralkomponenten (z. B. Magnetit, Pyrit, Albit) durch „streßabsorbierende“ und „weiche“ Sulfide wie Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies und Magnetkies bzw. durch das Einwandern dieser Sulfide in die B_1 -Faltenscheitel des gemeinsam mit

dem Erz vielfach isoklinal verfalteten Nebengesteins. Des weiteren ist im Grenzbereich Erz/Nebengestein allenthalben eine auf mm-Entfernung erfolgende Sulfid-Migration in den Intergranularraum zu beobachten, die sich zum Teil scheinbar quarzverdrängend auswirkte.

Am „Salband“ der Erzlager entwickeln sich Breccienzerze aus bis zu faustgroßen Nebengesteinstrümmern mit verkittendem grobkristallinem Bleiglanz. Hier dürfte der Bleiglanz bereits „metahydrothermal“ (LAWRENCE 1967) mobilisiert worden sein. Dieses trifft sicherlich auch für sulfidbelegte, auf B_1 zu beziehende ac- und hOl-Klüfte zu, die mit Zinkblende, Kupferkies, Bleiglanz und Magnetkies vererzt sind. Die Migration erfolgte auf Entfernungen bis zu 1 dm.

Weitergehende Mobilisationen bis in den Meter- und sogar bis in den Zehnermeterbereich (KARL 1961, SCHMITZ 1971) lassen sich ebenfalls nachweisen. Es handelt sich um diskordante, von den Erzlagern abscharende und zumeist seigere Trümmer, zum Teil mit einer Erzmächtigkeit, die ein Mehrfaches der der Erzlager ausmacht.

Die häufig im feinkörnigen Blei-Zinkerz auftretenden grobkristallinen Partien von Bleiglanz, Zinkblende oder Magnetkies sind vielleicht das Ergebnis einer selektiven Mobilisation.

Die Frage nach der Art und Weise des Sulfid-Transports, ob „metahydrothermal“ oder gar in schmelzflüssiger Form, stellt sich bei der Beobachtung runder Zinkblende-Einkristalle (vgl. Abb. 4) im feinkörnigen Bleiglanz. Deren Entstehung wird sehr wahrscheinlich durch Oberflächenspannungen (STANTON & GORMAN 1968) in einem flüssigen Medium maßgeblich beeinflusst. Die aus der Gesteins- und Erzparagenese ableitbaren Bildungstemperaturen zwischen 500 und 600° C lassen unter Berücksichtigung der Ergebnisse experimenteller Untersuchungen von Sulfid-Systemen durch KULLERUD u. a. (zuletzt KULLERUD & MOH 1972) eine zumindest teilweise schmelzflüssige Mobilisierung der Pflerscher Erze nicht ausgeschlossen erscheinen.

Eine Literaturübersicht zur Metamorphose und Mobilisierung sulfidischer Erze wurde von VOKES (1969, 1971) gegeben.

Neben den Sulfiden wurden auch „Gangart“-Minerale metamorph mobilisiert. Außer dem schon erwähnten, im Gefolge der Durchbewegung der Erzlager in sprossenden Almandin-Granat findet sich auch Karbonat auf B_1 zuzuordnenden hOl- und ac-Klüften; Albit und Quarz verheilen Reißfugen im Granat. Schließlich tritt Granat als wesentliche Komponente in den diskordanten, mehrere Meter weit von den Erzlagern abscharenden Erztrümmern (Lagerstättenrevier „Silberböden“) sowie salbandbelegend in kleinen Quarztrümchen auf. Im letzteren Fall dürfte es sich jedoch mehr um Reaktionssäume im Grenzbereich Quarzgang/biotitführendes Nebengestein handeln.

Alter und Bedingungen der Metamorphose

Die zur Zeit vorliegende metamorphe Mineralparagenese der Metapelite und Amphibolite ist im wesentlichen präalpidisch und entstand nach WINKLER (1970) bei Temperaturen zwischen 500 und 600° C und bei Drucken von zeitweise über 6 kb. Gelegentlich auftretende Disthen-Akkumulationen stellen wahrscheinlich Relikte einer früheren metamorphen Kristallisation dar.

Die jüngere Durchbewegung und vor allem die mit ihr verknüpften Um- und Rekristallisationen im Bereich der Vererzung erfolgten unter ähnlichen p-T-

Bedingungen wie die vorangegangene Verfallung. Diese Durchbewegung hat mit großer Wahrscheinlichkeit ebenfalls präalpidisch stattgefunden. In der überlagernden Trias im Bereich des Pflerschtals haben nämlich Temperaturen über 500° C, unter denen Almandin-Granat (WINKLER 1970) und Hochtemperatur-Kupferkies (YUND & KULLERUD 1961) sich wahrscheinlich bilden, nicht geherrscht.

Die frühalpidische Metamorphose in der Trias von Tribulaun und Telfer Weiben (MILLER et al. 1967) ist nach neuen experimentellen Untersuchungen an natürlichen Gesteinen (SCHMITZ-WIECHOWSKI 1973) bei Temperaturen über 400° C und unter 500° C abgelaufen. Diese Metamorphose hat sich also im Altkristallin retrograd oder bestenfalls faziesgleich ausgewirkt. So werden in amphibolführenden Gesteinen gelegentlich die Hornblenden durch Biotit pseudomorph verdrängt. Die Umbildung des Magnetkieses in das „Zwischenprodukt“ erfolgte vermutlich ebenfalls im Verlaufe dieser frühalpidischen Metamorphose. Eine alpidische Almandin-Kristallisation im Mesozoikum des Pflerschtals (BAUMANN 1967) konnte nicht bestätigt werden.

Jungalpidischen Alters dürfte die Chloritisierung der Biotite und Granate sein.

Im Zusammenhang mit der Alterseinstufung der Metamorphose im Kristallin stellt sich die Frage nach einer etwaigen alpidischen Überprägung der Pflerscher Erze, insbesondere nach einer alpidischen Erzmobilisation. Unter den aufgezeigten Bedingungen, unter denen die frühalpidische Metamorphose im südlichen Brennermesozoikum ablief, könnte an eine teilweise Mobilisierung zumindest des Bleiglanzes gedacht werden, was noch untersucht werden müßte. Der Nachweis eines Übergreifens der Pflerscher Vererzung auf die Trias (v. HOUTEN 1931) war im Gelände bislang nicht zu erbringen.

Zur Genese der Pflerscher Erzlagerstätten

Die Pflerscher Erzlagerstätten sind nicht im Sinne von FRIEDRICH an Deckengrenzen gebunden. Auch den Auffassungen von GRANIGG (1908) — Pflerscher Erze genetisch vergleichbar mit den hydrothermal zu deutenden Schneeberger Erzen — und von v. HOUTEN (1930) — „Schichtungsmetasomatose mit ziemlich hochtemperierten Lösungen“ — muß nach dem heutigen Erkenntnisstand widersprochen werden.

Als erster sprach BILLEK (1900) die Vermutung aus, daß die Schneeberger und Pflerscher Vererzungen synsedimentärer Entstehung seien.

KARL (1961) erkannte bereits die konkordante Bindung der Vererzung an bestimmte Gesteinsfolgen und ließ die Möglichkeit der Überprägung und Umlagerung einer älteren Vererzung durchaus offen.

FÖRSTER hat sich in mehreren Arbeiten mit der Möglichkeit einer syngenetischen Deutung der Schneeberger und Pflerscher Erze beschäftigt und 1969 die ostalpine Vererzung mit „sedimentären Vorgängen“ und dem „voralpidischen geologischen Geschehen“ in Verbindung gebracht.

Die Pflerscher Erzlagerstätten weisen Kennzeichen auf, die eine prämetamorphe synsedimentäre Deutung der Vererzung nahelegen. Es handelt sich, die wichtigsten Beobachtungen zusammenfassend, um folgende Merkmale (Abb. 13):

Die Erze stehen genetisch mit ehemaligen sapropelitischen Gesteinen und sauren Tuffen bis Tuffiten in Verbindung, mit denen sie wechsellagern. Auf der

Grundlage bisher durchgeführter Altersbestimmungen (SCHMIDT et al. 1967, MILLER et al. 1967, HARRE et al. 1968) und petrogenetischer Untersuchungen (SCHMIDT 1965 a und b, BAUMANN et al. 1967, FÖRSTER 1969, PURTSCHELLER 1969) an Gesteinen der Ötztal-Stubai-Masse können die Ursprungsgesteine der Pflerscher Metasedimente mitsamt ihrer schichtgebundenen Vererzung als silurisch, vielleicht sogar als präsilurisch gelten.

Für die Genehmigung zur Befahrung der Pflerscher Stollen bin ich dem damaligen Direktor der Grube Schneeberg, Dr. A. OTTAVIANI, sowie dem Chefgeologen der AMMI, Dr. W. MÜNCH, zu Dank verpflichtet.

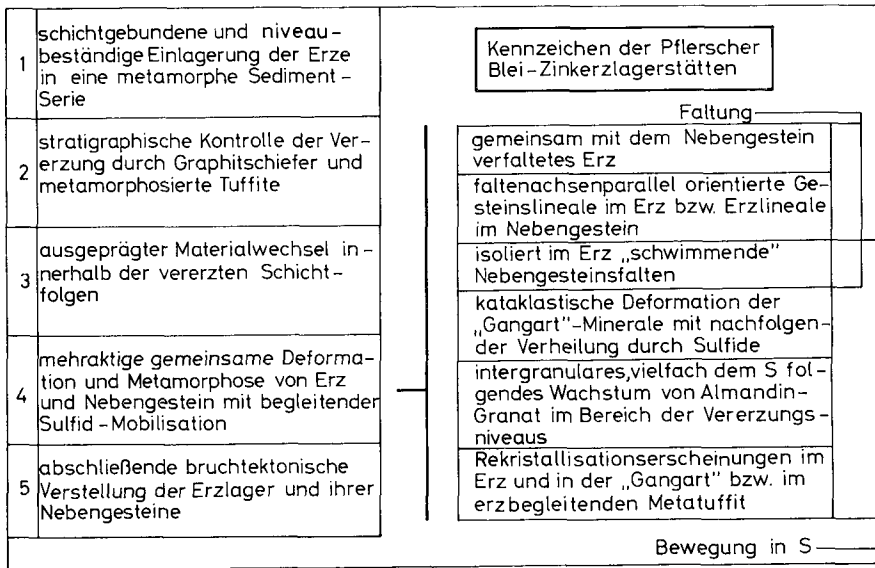


Abb. 13. Kennzeichen der Pflerscher Blei-Zinkerzlagerstätten.

Die Untersuchungen mit der Mikrosonde erfolgten im Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH Aachen und wurden in dankenswerter Weise von Frau Dr. A. SCHMITZ-WIECHOWSKI und Herrn Dr. W. HENNIG durchgeführt.

Dem DAAD fühle ich mich durch die Gewährung eines Stipendiums zu Dank verpflichtet.

Die DFG stellte einen Teil der benutzten Geräte zur Verfügung.

Literaturverzeichnis

- ANGENHEISTER, G., BÖGEL, H., GEBRANDE, H., GIESE, P., SCHMIDT-THOMÉ, P., & ZEIL, W.: Recent investigations of surficial and deeper crustal structures of the Eastern and Southern Alps. — Geol. Rdsch., **61**, 349–395, Stuttgart 1972.
- BAUER, G.: Experimentelle Stauchverformung an Ötztaler Glimmerschiefern. — Diss. RWTH Aachen, Aachen 1973 (in Vorbereitung).
- BAUMANN, M.: Geologische Untersuchungen am Ostende des Schneeberger Zuges zwischen Sterzing und Schneeberg/Passiertal (Südtirol). — Diss. TH München, 96 S., München 1967.

Aufsätze

- BAUMANN, M., HELBIG, P., & SCHMIDT, K.: Die steilachsige Faltung im Bereich des Gurgler und Venter Tales (Ötztaler Alpen). — Jb. Geol. Bundesanst. Wien, **110**, 1—72, Wien 1967.
- BILLEK, J.: Die Erzlagerstätten des Bergbaus am Schneeberg im Passeiertale und in der Pflersch. — Unveröff. Manuskript, 1900.
- FÖRSTER, H.: Die Genese der Blei-Zinkerzlagerstätte Schneeberg in Südtirol und die geologische Stellung des Schneeberger Gesteinszuges. — N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 227—233, Stuttgart 1966.
- : Petrographische und tektonische Untersuchungen in den südlichen Stubai und westlichen Zillertaler Alpen. — Habil.-Schrift RWTH Aachen, 185 S., Aachen 1969.
- FÖRSTER, H., & SCHMITZ, N. (K.): Die Blei-Zinkerzlagerstätte Pflersch in Südtirol. Ein mittelalterlicher Bergbau im Wiederaufschluß. — Erzmetall, **25**, 57—64, Stuttgart 1972.
- FÖRSTER, H., & LEONHARDT, J.: Die Ötztaler Masse — ein präkambrisches Massiv in den Ostalpen? — Geol. Rdsch., **61**, 69—87, Stuttgart 1972.
- GRANIGG, B.: Die stoffliche Zusammensetzung der Schneeberger Lagerstätten. — Österr. Z. f. Bergb. u. Hüttenw., **56**, 329—334, 341—345, 359—362, 374—378, 389—391, 398—400, Wien 1908.
- HARRE, W., KREUZER, H., LENZ, H., MÜLLER, P., WENDT, I., & SCHMIDT, K.: Rb/Sr- und K/Ar-Altersbestimmungen an Gesteinen des Ötzalkristallins (Ostalpen). — Geol. Jb., **86**, 797—826, Hannover 1968.
- v. HOUTEN, L.: Die Erzlagerstätten des Pflerschtals in Südtirol. — Jb. Geol. Bundesanst. Wien, **80**, 339—349, Wien 1930.
- : Zur Altersfrage der Pflerscher Erzlagerstätten. — Centr. Blatt Miner., **A 1931**, 325—326, Stuttgart 1931.
- KARL, F.: Bericht über geologisch-lagerstättenkundliche Untersuchungen im Val di Fleres 1960/1961. — Unveröff. Manuskript Metallgesellschaft Frankfurt, 48 S., Frankfurt 1961.
- : Anwendung der Gefügekunde in der Petrotechnik. Teil I: Grundbegriffe. — Tektonische Hefte, **5**, 142 S., Clausthal-Zellerfeld 1964.
- KÜBLER, H., & MÜLLER, W. E.: Die Geologie des Brenner-Mesozoikums zwischen Stubai- und Pflerschtal (Tirol). — Jb. Geol. Bundesanst. Wien, **105**, 173—242, Wien 1962.
- KULLERUD, G., & MOH, G. H.: Das Problem „Erz-Nebengestein“, erläutert an ausgewählten Beispielen im Experiment. — Mineral. Deposita, **7**, 271—279, Berlin 1972.
- LANGHEINRICH, G.: Zur Tektonik und Metamorphose des zentralen Permo-Mesozoikums und der Brenner-Senke. — Nachr. d. Akad. d. Wiss. Göttingen, II. Mathem.-Phys. Kl., **10**, 133—149, Göttingen 1965.
- LAWRENCE, L. J.: Sulphide neomagmas and highly metamorphosed sulphide deposits. — Mineral. Deposita, **2**, 5—10, Berlin 1967.
- MEHNERT, K. R.: Petrographie und Abfolge der Granitisation im Schwarzwald. — N. Jb. Mineral. Abh., **85**, 59—140, Stuttgart 1953.
- MILLER, D. S., JÄGER, E., & SCHMIDT, K.: Rb-Sr-Altersbestimmungen an Biotiten der Raibler Schichten des Brenner-Mesozoikums und am Muskovitgranit-Gneis von Vent (Ötztaler Alpen). — Ecol. Geol. Helv., **60**, 537—541, Basel 1967.
- PURTSCHELLER, F.: Petrographische Untersuchungen an Alumosilikatgneisen des Ötztal-Stubai-Alt-kristallins. — Tschermaks miner. petrogr. Mitt., **13**, 35—54, Wien 1969.
- : Ötztaler und Stubai-er Alpen. — Sammlung geologischer Führer, **53**, 111 S., Stuttgart 1971.
- RAMDOHR, P.: The ore minerals and their intergrowths. — 1174 S., Berlin 1969.

- SANDER, B.: Erläuterungen zur Geologischen Karte Meran-Brixen. — Ber. d. naturwiss.-med. Ver. in Innsbruck, **41**, 1—111, Innsbruck 1929.
- SCHMIDT, K.: Zum Schlingenbau tiefer Gebirgsetagen. — *Krystallinikum*, **3**, 133—156, Prag 1965 (1965 a).
- : Zum Bau der südlichen Ötztaler und Stubai Alpen. — *Verh. Geol. Bundesanst. Wien, Sonderheft G*, 199—213, Wien 1965 (1965 b).
- : „Europa“, in: *Stratigraphische Geologie*, Bd. 13, Präkambrium, Erster Teil, 388 S., Stuttgart 1966 (Herausgeber LOTZE, Fr., & SCHMIDT, K.).
- SCHMIDT, K., JÄGER, E., GRÜNENFELDER, M., & GRÖGLER, N.: Rb-Sr- und U-Pb-Altersbestimmungen an Proben des Ötztalkristallins und des Schneeberger Zuges. — *Eclog. Geol. Helv.*, **60**, 529—536, Basel 1967.
- SCHMITZ, N.: Die Blei-Zinkerzlagerstätten des Pflerschtals bei Gossensass in Südtirol/Italien. Zur genetischen Kennzeichnung eines ostalpinen Erzvorkommens. — Diss. RWTH Aachen, 267 S., Aachen 1971.
- SCHMITZ-WIECHOWSKI, A.: Experimentelle Untersuchungen zur Frage der Metamorphose einiger ostalpiner Gesteine unter besonderer Berücksichtigung des Brenner-Mesozoikums. — Diss. RWTH Aachen, Aachen 1973 (im Druck).
- STANTON, R. L., & GORMAN, H.: A phenomenological study of grain boundary migration in some common sulfides. — *Econ. Geol.*, **63**, 907—923, New Haven 1968.
- VOKES, F. M.: A review of the metamorphism of sulphide deposits. — *Earth-Sci. Rev.*, **5**, 99—143, 1969.
- : Some Aspects of the Regional Metamorphic Mobilization of Preexisting Sulphide Deposits. — *Mineral. Deposita*, **6**, 122—129, Berlin 1971.
- WINKLER, H. G. F.: Abolition of Metamorphic Facies. Introduction of the four Divisions of Metamorphic Stage, and of a Classification based on Isograds in Common Rocks. — *N. Jb. Mineral., Mh.*, 189—248, Stuttgart 1970.
- YUND, R. A., & KULLERUD, G.: The System Cu-Fe-S. — *Annual Rep. Dir. Geophys. Laboratory*, reprinted from *Carn. Inst. Washington Yearbook*, **60**, 180—181, 1961.

Gesichtspunkte zu Hypothesen über metamorphogene Bildung von Sulfidgroßlagerstätten in den Svekofenniden Schwedens*)

Von HANS J. KOARK, Uppsala **)

Mit 4 Abbildungen

Zusammenfassung

Einige der bedeutendsten Sulfidlagerstätten(-regionen) in den präkambrischen Svekofenniden wurden u. a. als metamorphogene Metallkonzentrationen aufgefaßt. Primärer Anlaß sollen syn- resp. spätorogene Granitfronten gewesen sein. Die Erzkomponenten sollen im Vorfeld der Granitfronten, oder durch dieselben selbst, gelöst und in Richtung des Druck- und Temperaturgefälles abgewandert sein. Konzentration und Ausfällung sollen schließlich subparallel vor den Granitfronten an reaktionsfreudigen Gesteinen und empfänglichen Strukturen erfolgt sein.

*) Vortrag anlässlich der 63. Jahrestagung der Geologischen Vereinigung in Salzburg am 2. März 1973.

***) Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. H. J. KOARK, Uppsala universitet, Geologiska institutionen, Mineralogisk-petrologiska avdelningen, Box 555, S-751 22 Uppsala 1, Schweden.